

第 1 章 绪 论

1.1 电子学与微电子学

电子学(electronics)是一门以应用为主要目的的科学和技术,它主要研究电子的特性和行为以及电子器件。电子技术则是应用电子学的原理、利用电子器件设计电路来解决实际问题的科学。电子学涉及很多的科学门类,包括物理、化学、数学、材料科学等。电子学是以电子或离子运动和电磁波及其相互作用的研究和利用为核心而发展起来的,它作为新的信息作业手段获得了蓬勃发展。

1. 电子学的发展

电子学是在早期的电磁学和电工学的基础上发展起来的。

在电子学诞生之前,人类对于电磁现象的研究已相当深入。一系列物理定律已经确立,如库仑定律、安培定律、欧姆定律、法拉第电磁感应定律、楞次定律等。英国物理学家 J. C. 麦克斯韦在以往电磁学研究的基础上,建立了电磁学的完整理论——麦克斯韦方程,并从理论上预言了电磁波的存在。与此同时,人们对电磁学的利用也达到了一定的水平,有线电报和有线电话已相继发明,并且有了横贯美洲大陆的电报、电话线路和横跨大西洋的海底电缆。此外,美国人 T. A. 爱迪生发明了白炽灯。所有这些,都为电子学的诞生准备了充足的条件。

标志着电子学诞生的两个重大的历史事件是爱迪生效应的发现和关于电磁波存在的验证实验。1883年,爱迪生在致力于延长碳丝白炽灯的寿命时,意外地发现了在灯丝与加有正电压的电极间有电流流过,电极为负时则无电流,这种热电子发射现象称为爱迪生效应。这一发现促进了后来电子管的发明。

1887年,德国物理学家 H. R. 赫兹进行了一项实验,他用火花隙激励一个环状天线,用另一个带缝隙的环状天线接收,证实了麦克斯韦关于电磁波存在的预言,这一重要的实验有助于后来无线电报的发明。

电子学在发展过程中取得了许多有重大意义的成就,如无线电报、电子管、广播与电视、雷达、电子计算机、晶体管、集成电路、卫星通信、光频等。

2. 电子学的应用

电子学是应用和渗透范围很广的学科之一。

电子学用于工业,极大地提高了工业的劳动生产率。电子技术与机械相结合产生了各种类型的数控机床、机械手和机器人,出现了由它们组合起来的全自动化的和柔性的生产线。电子学用于生产检验,可以有效地控制产品质量,指导产品设计和生产的改进方向。电子学用于油田开发,可以提高勘探的成功率,并能科学地组织开采。电子学用于电力生产的管理,可以实现电力的合理调配,提高生产的安全性。电子学用于交通,可以引导船只和飞机安全航行。

电子学用于农业,也给农业发展带来了许多好处,可进行作物生长检测、农机精准作业

等。气象对于农业至关重要,用无线电和雷达技术可以搜集局部地区的气象资料,专用的气象卫星可以定期播发全球各地区的大范围云图,通信网用于传递气象情报,计算机用于气象情报处理并作出预报。利用遥感数据,可以获得土壤湿度、作物长势、病虫害等信息。电子学还可以用于作物的育种催芽和粮食的烘干加工。

电子学用于军事,提高了各种武器装备的性能,并深刻地影响着军事行为的方式。在现代武器装备中,电子设备所占比重不断增加。电子技术还是情报侦察、通信联络、分析决策、指挥控制等不可缺少的手段。正因为如此,一种无形的战争——电子战成为引人注目的战争形式。

电子学用于医学,出现了各种类型的电子监护系统、物理治疗系统、辅助诊断系统以至医学专家系统。X射线断层成像技术是20世纪70年代的重要科学进展之一,所采用的主要技术就是图像处理技术和高速大容量计算机。

人类社会正进入一个新的发展阶段,它是以信息的急剧膨胀为主要特征的阶段,一场以信息技术为主流的新的技术革命正在兴起。推动这一转变的主角正是电子学的最新成就,即微电子技术。各种信息作业,无一不借助电子科学技术来完成。3A革命(即工厂自动化、办公室自动化、家庭自动化)以及3C革命(即通信、计算机、控制),也无一不是建立在电子学的基础之上。

3. 微电子学

微电子学(microelectronics)是电子学的一门分支学科,主要研究电子或离子在固体材料中的运动规律及其应用,并利用它实现信号处理功能。它以实现电路和系统的集成为目的。微电子学中实现的电路和系统又称为集成电路和集成系统,是微小化的;微电子学中的空间尺寸通常以微米(μm , $1\ \mu\text{m}=10^{-6}\ \text{m}$)和纳米(nm , $1\ \text{nm}=10^{-9}\ \text{m}$)为单位。

微电子学是信息领域的重要基础学科,是研究信息获取的科学,构成了信息科学的基石,其发展水平直接影响着整个信息技术的发展。微电子技术的发展水平和产业规模是一个国家经济实力的重要标志。

微电子学是一门综合性很强的学科,其中包括半导体器件物理、集成电路工艺和集成电路及系统的设计、测试等多方面的内容;涉及固体物理学、量子力学、热力学与统计物理学、材料科学、电子线路、信号处理、计算机辅助设计、测试和加工等多个领域。

微电子学是一门发展极为迅速的学科,高集成度、低功耗、高性能、高可靠性是微电子学发展的方向。信息技术发展的方向是多媒体(智能化)、网络化和个体化。要求系统获取和存储海量的多媒体信息、以极高速度精确可靠地处理和传输这些信息并及时地把有用信息显示出来或用于控制。所有这些都只能依赖微电子技术的支撑才能成为现实。超高容量、超小型、超高速、超高频、超低功耗是信息技术追求的目标,是微电子技术发展的动力。

微电子学渗透性强,与其他学科结合产生出一系列新的交叉学科。微机电系统就是这方面的代表,是近些年发展起来的具有广阔应用前景的新技术。

1.2 电子技术与微电子技术在汽车中的应用与发展

电子技术与微电子技术根本性地改变了汽车技术。电子系统开始替代一些机械系统,如用电子点火系统代替机械式的点火断电器、电子燃油喷射代替化油器。不断涌现的新型

汽车系统,不使用微电子技术的电子系统是难以想象的。究其原因,在于对汽车性能的要求不断提高。如对发动机有害气体排放标准的要求,需采用诸如氧传感器、废气再循环、可变正时等电子调节系统;对汽车舒适性的要求,需采用车内气候调节系统、汽车行驶的导航调节系统、悬架阻尼和刚度调节系统等;对汽车安全性的要求,需采用防抱死制动系统、驱动防滑控制系统、电子稳定控制系统、安全气囊、倒车雷达、自动泊车、上坡辅助、自动驾驶等。

1.2.1 汽车电子技术的发展过程

现代汽车电子控制技术是汽车技术与电子技术相结合的产物。随着汽车工业与电子工业的不断发展,电子技术在现代汽车上的应用越来越广泛,汽车电子化的程度越来越高。据统计,紧凑型车型、中高档车型、混合动力车型和纯电动车型汽车电子成本占整车成本的比例分别为15%、28%、47%和65%。汽车电子技术发展过程可分为四个阶段。

1974年以前为第一阶段,是汽车电子控制技术发展的初级阶段。主要产品有交流发电机、电子式电压调节器、电子式闪光器、电子控制式喇叭、电子式间歇刮水控制器、汽车收音机、电子点火控制器、数字时钟等。

1974—1982年为第二阶段,是汽车电子控制技术迅速发展阶段。在此期间,汽车上广泛应用集成电路和16位以下的微处理器。主要产品有电子燃油喷射(electronic fuel injection,EFI)系统、空燃比反馈控制系统、防抱死制动系统(antilock brake system,ABS)、安全气囊系统(supplemental restraint system,SRS)、电子控制自动变速(electronic control transmission,ECT)系统、巡航控制系统、电子控制门锁系统、座椅安全带收紧系统、汽车防盗系统、故障自诊断系统、数字式组合仪表板等。

1982—1990年为第三阶段,也是微型计算机在汽车上应用日趋成熟并向智能化发展的阶段。主要产品有牵引力控制系统、四轮转向控制系统、轮胎气压控制系统、数字式油压表、蜂窝式电话、加热式挡风玻璃、超速限制器、自动后视镜系统、道路状态指示器等。

1990年以后为第四阶段,是汽车电子控制技术向智能化发展的高级阶段。主要产品有微波系统、多路传输系统、32位微处理器、动力最优化控制系统、通信与导航协调系统、安全驾驶检测与警告系统、自动驾驶系统和电子地图等。

如图1-1所示,汽车电子与控制系统的功能越来越强,获取的信息越来越多,智能化程度越来越高,可靠性和安全性也越来越好,汽车已由传统的代步工具发展为舒适、环保、节能、自动化、智能化的多功能“移动空间”。当然,今天的汽车技术与人们期望的汽车技术之间还存在着巨大的差距,今天的汽车工程师们正面临着巨大的挑战,需要在现代与传统技术之间建立起一座桥梁,通过应用先进的电子技术、自动控制技术、信息技术和电子通信技术来推动汽车技术的进步。汽车电子与控制技术今后将集中围绕以下几个方面发展。

- (1) 满足用户需求,大幅度提高汽车的性能,使之更舒适、方便、安全和可靠。
- (2) 满足社会需求,保护环境、节省能源、节约资源。
- (3) 实现交通系统智能化,将汽车和社会有机地连接起来。

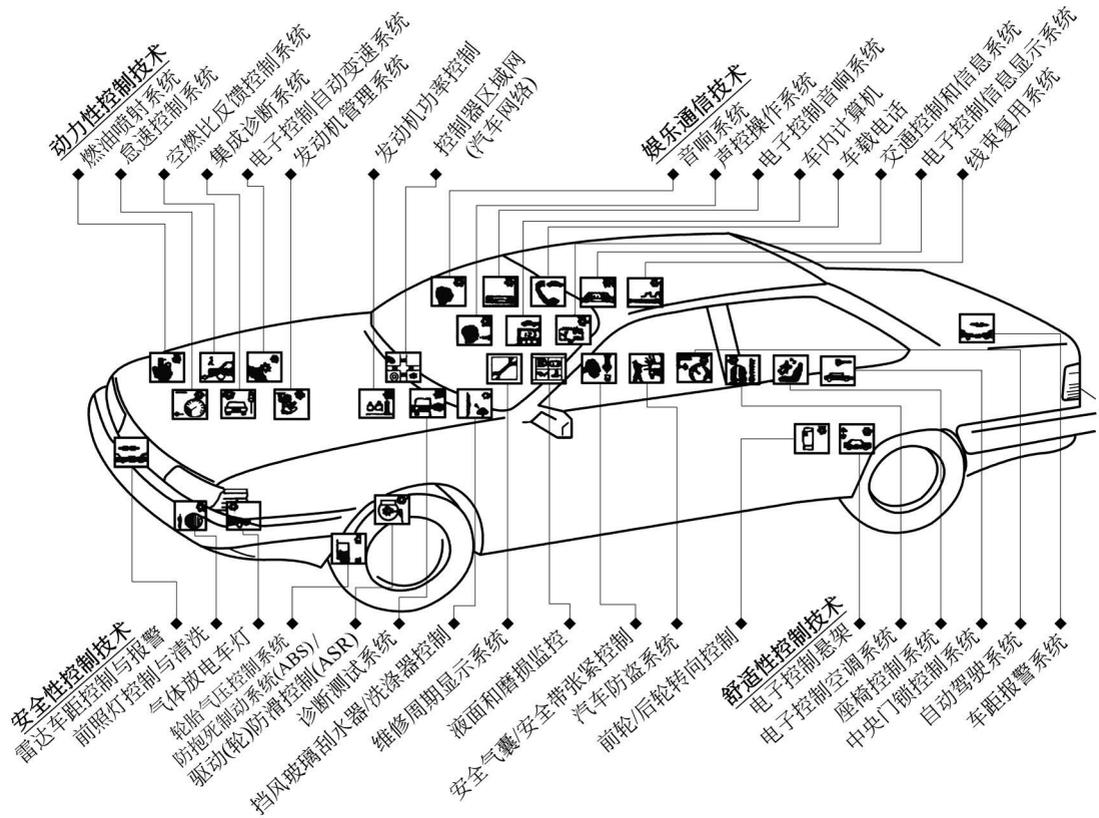


图 1-1 汽车电子与控制系统

1.2.2 微电子技术在汽车中的应用

围绕改善汽车的动力性、经济性、安全性、舒适性等指标,微电子技术在汽车上的应用主要有以下几个方面。

1. 发动机电子控制

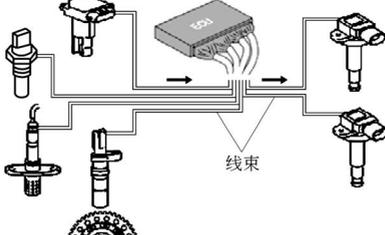
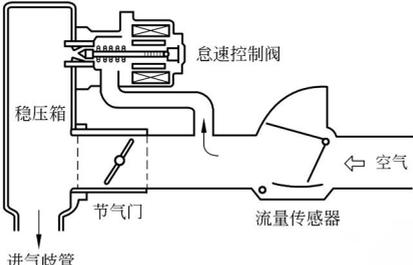
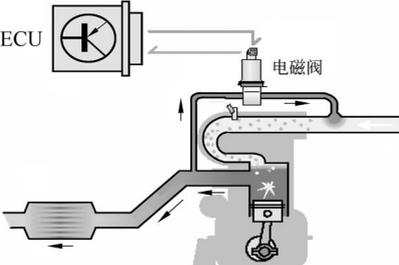
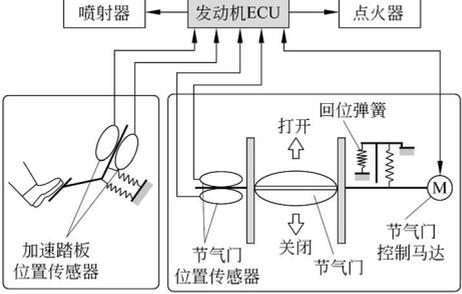
发动机电子控制用于降低油耗、减少污染,提高汽车的动力性和经济性,主要有发动机供油控制、点火控制、进气控制、排气控制等,是目前乘用车型所配备的基本电子控制系统。

微电子技术在发动机上的主要应用见表 1-1。

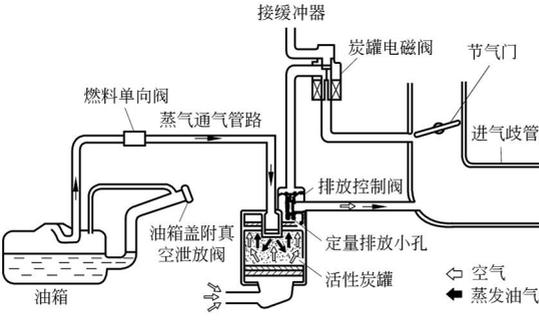
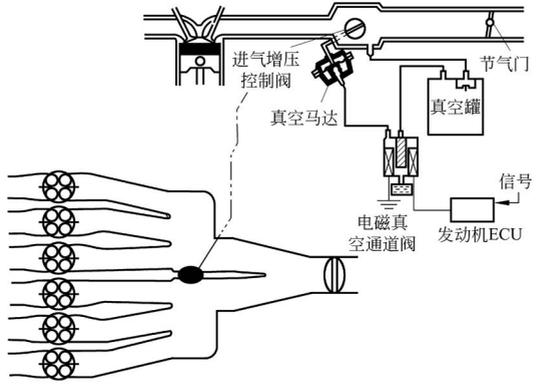
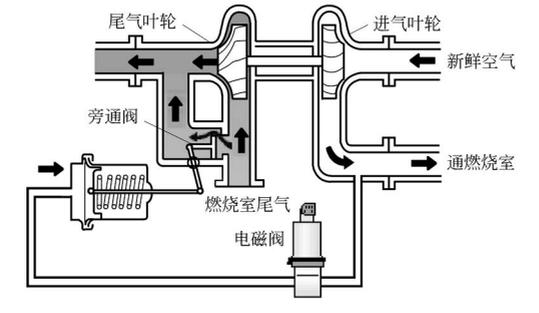
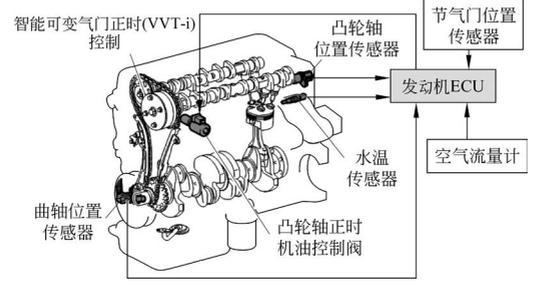
表 1-1 微电子技术在发动机上的应用

控制项目	控制简图	控制内容
电子燃油喷射 (electronic fuel injection, EFI)		<ul style="list-style-type: none"> ① 喷油量控制。 ② 喷油正时控制。 ③ 断油控制(包括减速断油控制和超速断油控制)。 ④ 燃油泵控制

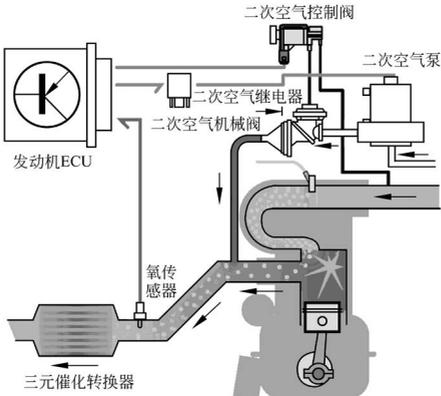
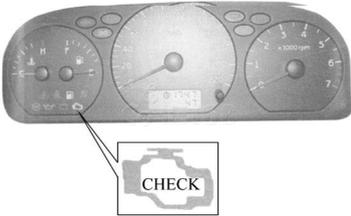
续表

控制项目	控制简图	控制内容
缸内直喷 (gasoline direct injection, GDI)	 <p>高压喷油器</p>	<p>缸内直喷是将汽油直接喷入气缸，并采用分层稀燃技术或分段喷射分层混合。控制系统由各种传感器得到所需的实际工况参数，经过电子控制单元 (electronic control unit, ECU) 的运算判断后，通过各种驱动机构对喷油器进行实时控制。GDI 发动机可有效提高燃油经济性，并降低尾气排放</p>
点火控制	 <p>线圈</p>	<ol style="list-style-type: none"> ① 点火提前角控制。 ② 通电时间(闭合角)控制。 ③ 爆震控制
怠速控制	 <p>怠速控制阀 稳压箱 节气门 流量传感器 空气 进气歧管</p>	<p>发动机在汽车制动、空调压缩机工作、变速器挂入挡位，或发动机负荷加大等怠速工况下，由 ECU 控制怠速控制阀，使发动机处在最佳怠速稳定转速下运转</p>
废气再循环 (exhaust gas recirculation, EGR)控制	 <p>ECU 电磁阀</p>	<p>当发动机的废气排放温度达到一定值时，ECU 根据发动机的转速和负荷，控制电磁阀的开启动作，使一定数量的废气进行再循环燃烧，以降低排气中 NO_x 的排放量</p>
电子节气门	 <p>喷射器 发动机ECU 点火器 加速踏板位置传感器 加速踏板 节气门位置传感器 节气门 节气门控制马达 回位弹簧 打开 关闭</p>	<p>驾驶员操纵加速踏板，加速踏板位置传感器产生相应的电压信号输入 ECU，ECU 根据当前的工作模式、踏板移动量和变化率解析驾驶员意图，计算出相应节气门转角的最佳开度，并驱动控制电机。节气门位置传感器则把节气门的开度信号反馈给 ECU，形成闭环的位置控制</p>

续表

控制项目	控制简图	控制内容
活性炭罐控制		<p>ECU根据发动机的工作温度、转速和负荷信号,控制活性炭罐清污电磁阀的开启工作,将活性炭吸附的汽油蒸气吸入进气管,进入发动机燃烧,降低蒸发排放</p>
进气谐波增压控制		<p>ECU根据转速传感器检测到的发动机转速信号,控制进气增压控制阀的开闭,改变进气管的有效长度,实现中低转速区和高转速区的进气谐波变化,提高发动机的充气效率</p>
涡轮增压控制		<p>ECU根据进气压力传感器检测到的进气压力信号控制废气增压器的废气放气阀或可变喷嘴环,以获得增压压力</p>
可变配气正时控制 (variable valve timing, VVT)		<p>同时改变进气门正时与升程,使发动机在低速、高速均具有良好的动力性和经济性</p>

续表

控制项目	控制简图	控制内容
二次空气喷射控制		<p>ECU 根据发动机的工作温度控制新鲜空气喷入排气歧管或三元催化转换器,用以减少排气造成的污染</p>
自我诊断与报警		<p>当电子控制系统出现故障时,ECU 会点亮仪表盘上的“发动机检查(CHECK)”指示灯,提示已出现故障,应立即随车检查修理。ECU 将故障代码的形式存储在 ECU 的存储器中,维修人员通过故障诊断插座,使用专用故障诊断仪或以跨接导线的方法调出故障信息,进行分析</p>

2. 底盘电子控制

底盘电子控制用于提高汽车的动力性、舒适性、安全性和经济性等,主要有离合器控制、变速器控制、差速器控制、主动/半主动悬架及车高自动控制、制动控制、驱动防滑控制、车身稳定性控制、转向控制(如 4WS)、驱动控制(如 4WD)和巡航控制等,在这些方面应用的电子控制系统技术正在迅速发展。

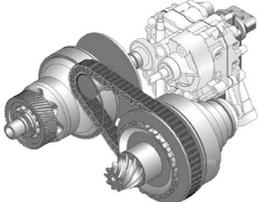
微电子技术在汽车底盘上的主要应用见表 1-2。

3. 车身系统电子控制

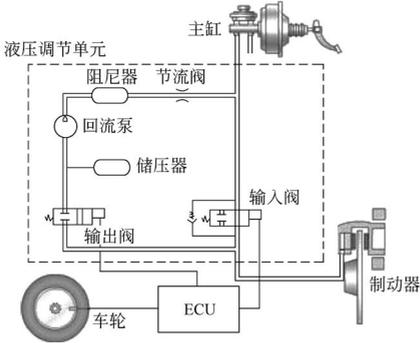
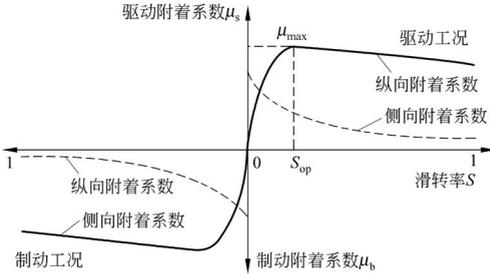
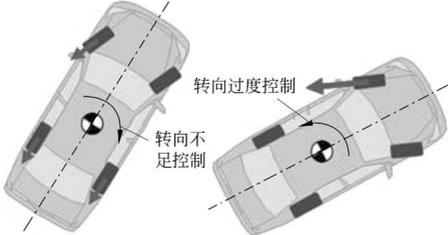
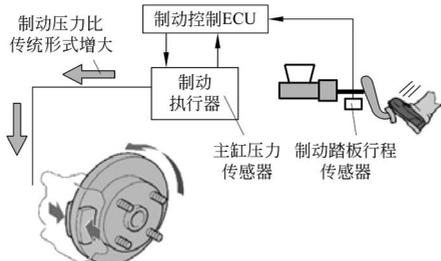
车身系统电子控制用于增强汽车的安全性、舒适性和方便性,主要有安全气囊、安全带、防盗系统、自动空调、车内噪声控制、电动座椅、电控刮水器、电动车窗、灯光自动调节控制和电源管理系统等。

微电子技术在汽车车身上的主要应用见表 1-3。

表 1-2 微电子技术在汽车底盘上的主要应用

控制项目	控制简图	控制内容
无级变速控制 (continuously variable transmission, CVT)		<p>工作时,根据汽车的运行条件,通过控制可动盘作轴向移动来改变主动轮、从动轮锥面与 V 形传动带之间的啮合工作半径,从而达到改变传动比的目的。由于主动轮和从动轮的工作半径可以实现连续调节,从而实现了无级变速功能</p>

续表

控制项目	控制简图	控制内容
四轮转向		<p>四轮转向是指后轮的轮胎也可转向。低速行驶时作逆向转向(前轮与旋转方向为逆向),以提高旋转时的转弯性能;中高速时为同向转向(前轮与旋转方向为同向),以提高在高速时的车道变换能力或旋转时操纵稳定性</p>
防抱死制动系统(ABS)		<p>ABS ECU 根据各轮速信号,计算出每个车轮的转速,进而推算出汽车的减速度及车轮的滑移率,通过液压控制单元调节制动过程的制动压力,达到控制车轮滑移率在 10%~30%、防止车轮抱死的目的</p>
驱动(轮)防滑控制(acceleration slip regulation, ASR)		<p>ASR 是防止汽车在起步、加速和滑溜路面行驶时驱动轮的滑转,并将滑转率控制在 10%~20% 范围内,以提高汽车的牵引性和操纵稳定性。ASR 的控制方式有:驱动轮制动力矩控制、发动机输出转矩控制、差速器锁止控制、离合器控制、变速器控制等</p>
车身稳定性(electronic stability program, ESP)控制		<p>ESP 加强车辆高速转弯动态稳定性,可以自动纠正驾驶员的不足转向和过度转向。ESP ECU 计算出保持车身稳定的理论值,与偏转率传感器和横向加速度传感器测得的数据进行比较,发出平衡纠偏指令。转向不足产生向理想轨迹曲线外侧的偏离倾向,过度转向产生向理想轨迹曲线内侧的偏离倾向</p>
辅助制动力控制(electronic brake assist, EBA)		<p>EBA 利用传感器感应驾驶员对制动踏板踩踏的力度与速度大小,然后通过 ECU 判断驾驶员此次刹车意图。如果属于紧急制动,EBA 此时就会指示制动系统产生更高的油压使 ABS 发挥作用,从而使制动力快速产生,减少制动距离,可有效防止追尾事故发生</p>

续表

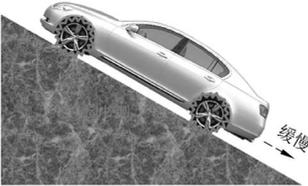
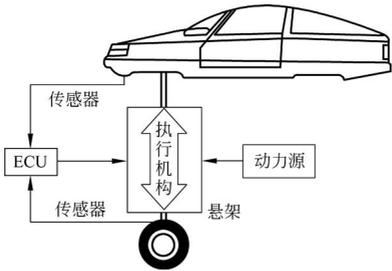
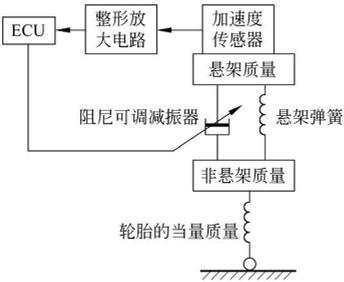
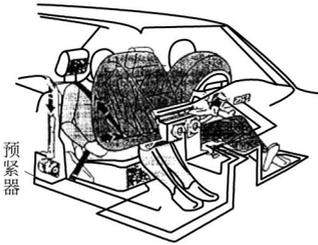
控制项目	控制简图	控制内容
坡起辅助控制 (hill-start assist control, HAC)		通过软件判断汽车是否处在斜坡,并会在驾驶员从制动踏板踩向加速踏板时,自动将汽车保持几秒的静止时间(一般5 s以内)
主动悬架		主动悬架实际上是一个动力驱动系统,它靠一定的能量向悬架部件提供动力,并对能量的大小进行控制,它无固定的弹性特性和阻尼特性,弹簧和阻尼器被作动器取代,根据地面冲击和汽车运行状态运用一定的策略产生作动力与其平衡,保证汽车在各种路面下都具有良好的平顺性
半主动悬架		悬架弹性元件的刚度或者减振器的阻尼系数可以根据需要进行调节控制的半主动悬架,研究主要集中在调节减振器的阻尼系数,即将阻尼可控减振器作为执行机构,通过传感器检测到的汽车行驶状况和道路条件的变化以及车身的加速度,由 ECU 根据控制策略发出脉冲控制信号,实现对减振器阻尼系数的无级可调

表 1-3 微电子技术在汽车车身上的主要应用

控制项目	控制简图	控制内容
安全气囊		当汽车遭受碰撞导致速度急剧变化时,气囊迅速膨胀,在驾驶员或乘员与车内构件之间铺垫一个气垫,利用气囊排气节流的阻尼作用来吸收人体惯性力产生的动能,从而降低人体遭受伤害的程度
预紧式安全带		在普通安全带上增加预紧器,发生碰撞时,通过点火装备点爆安装在预紧器上的火药,火药燃烧产生的气体冲入室内,活塞在气体的压力下向右移动,通过钢丝绳将锁扣向下拉回约 80 mm,消除安全带与乘员之间的间隙